

Física Moderna

Valter L. Líbero

**Instituto de Física de São Carlos
Departamento de Física e Informática
Departamento de Física e Ciência dos Materiais**

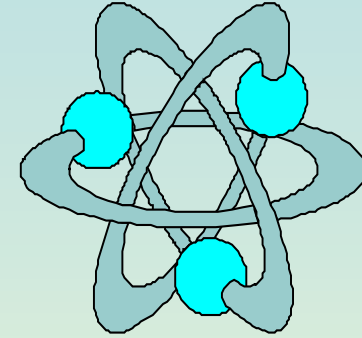
EFC - 2012

Programa

1- Teoria Atômica

2- Interação Matéria – Radiação

3- Relatividade



Referências:

Tipler e Llewellyn

J. P. McEvoy

E

Oscar Zarate

O Conceito de Átomo

Demócrito (o grego), **450 ac**: primeira idéia de **quantização**.

Hooke (o da mola) no **sec. XVII** especulou a idéia.

Avogadro (o da conservação), **1811**:

em CNTP todo gás tem o mesmo número de **partículas**.

Maxwell (o das ondas), em **1859**, elabora a

Teoria Cinética dos gases: pressão como choque de **partículas**.

Então, matéria era constituída de
partículas
(seja lá o que fossem)

Dinâmica de uma partícula:

Galileu: 1564 – 1642

Newton: 1642 – 1727

Estatística de partículas:

Boltzmann, 1870, *temperatura*: $kT/2$, $e^{-E/kT}$

Então, vamos aplicá-las à matéria:



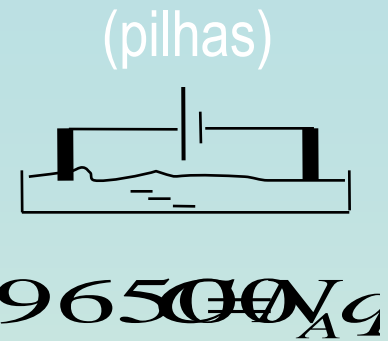
A matéria tem cargas elétricas

Dinâmica de cargas: J. Maxwell: 1831-1879

(eletromagnetismo -> base das comunicações)

Quantização da carga:

Faraday, 1833, com a eletrólise



Stoney, 1874: nome -> elétron

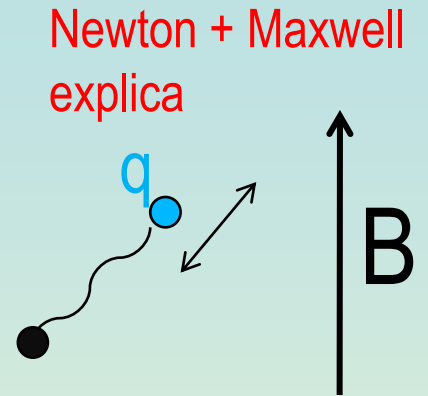
Hertz, 1887: *acha* que partículas negativas eram criadas qdo luz incidia em metal -> facilitava a centelha em sua antena: é o efeito fotoelétrico!

parecia existir uma carga elementar!

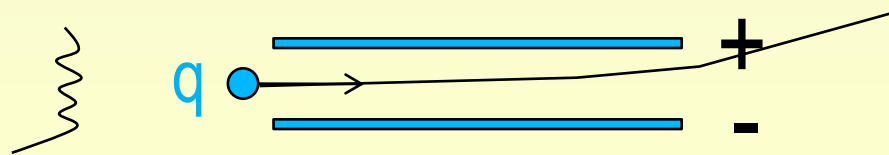
Zeeman, 1896 (Nobel):

átomo sem campo mag. emite em ν ;
com campo, em ν , $\nu - \Delta\nu$, $\nu + \Delta\nu$,
sendo $\Delta\nu \approx q/m$

-> havia cargas nos átomos

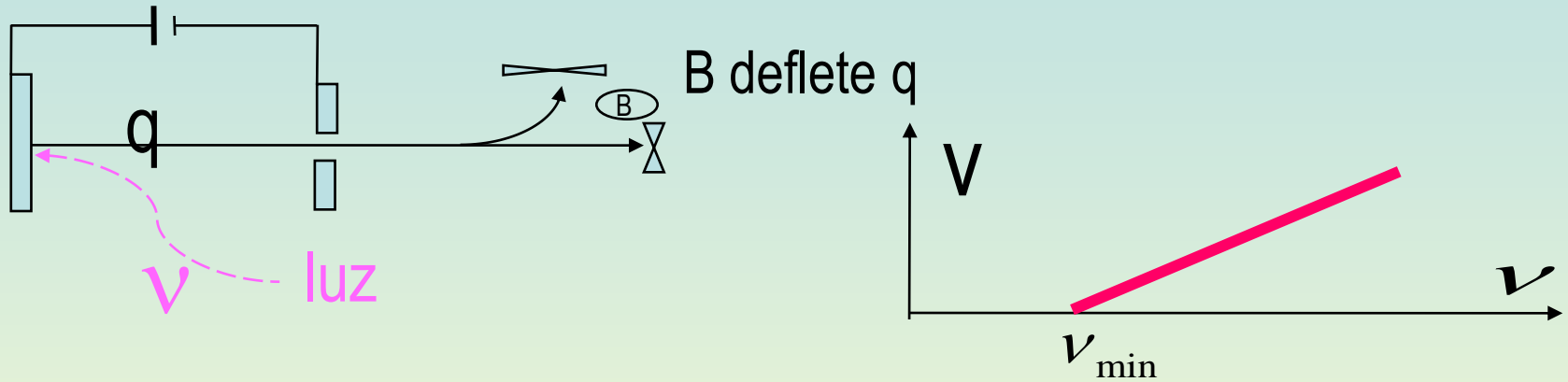


Em 1897, J. J. Thomson descobre o elétron nos raios catódicos (Nobel, 1906).

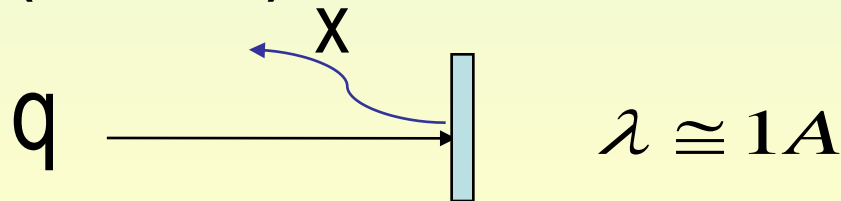


a mesma carga
que havia no átomo

Lenard, 1899, (Nobel) descobre que as cargas de Hertz são as mesmas que de Thomson:



Roentgen, 1895, descobre e gera os raios-X (Nobel)



existe mesmo uma carga elementar !

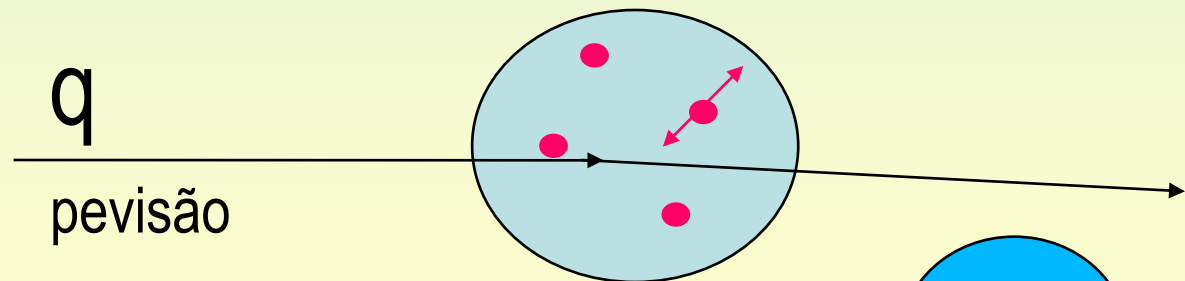
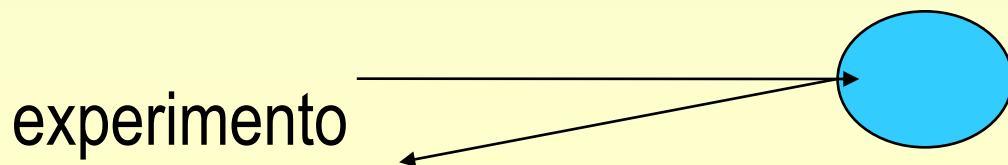
Juntando tudo até agora:

- 1- elétron: partícula carregada
- 2- átomo emite radiação
- 3- carga que oscila emite luz

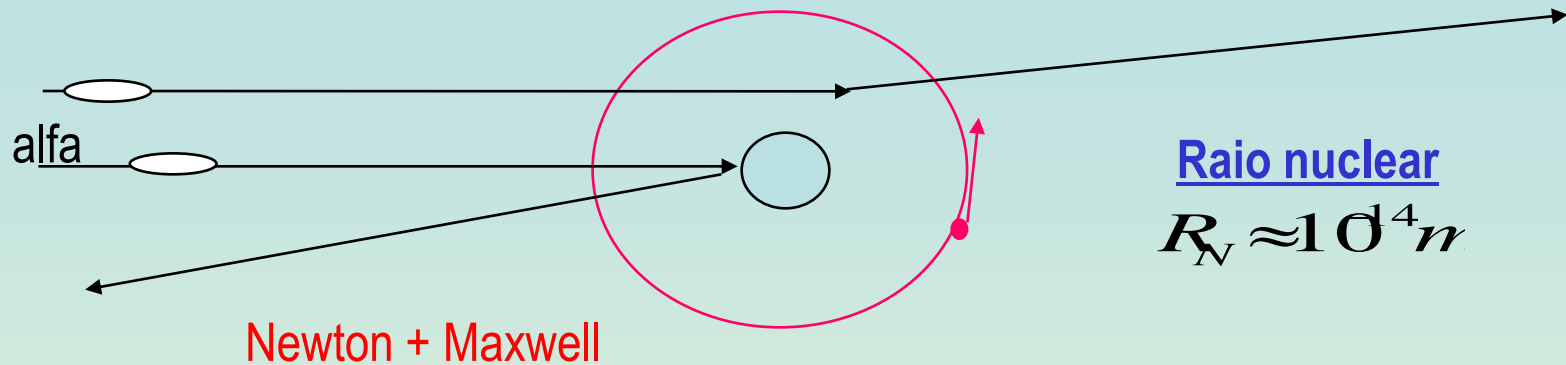
→ Modelo Atômico de Thomsom

(modelo pudim de passas)

**Elétron oscila
e emite radiação:
Newton + Maxwell**



Rutherford, Geiger e Marsden - 1907



Carga acelerada irradia -> colapso

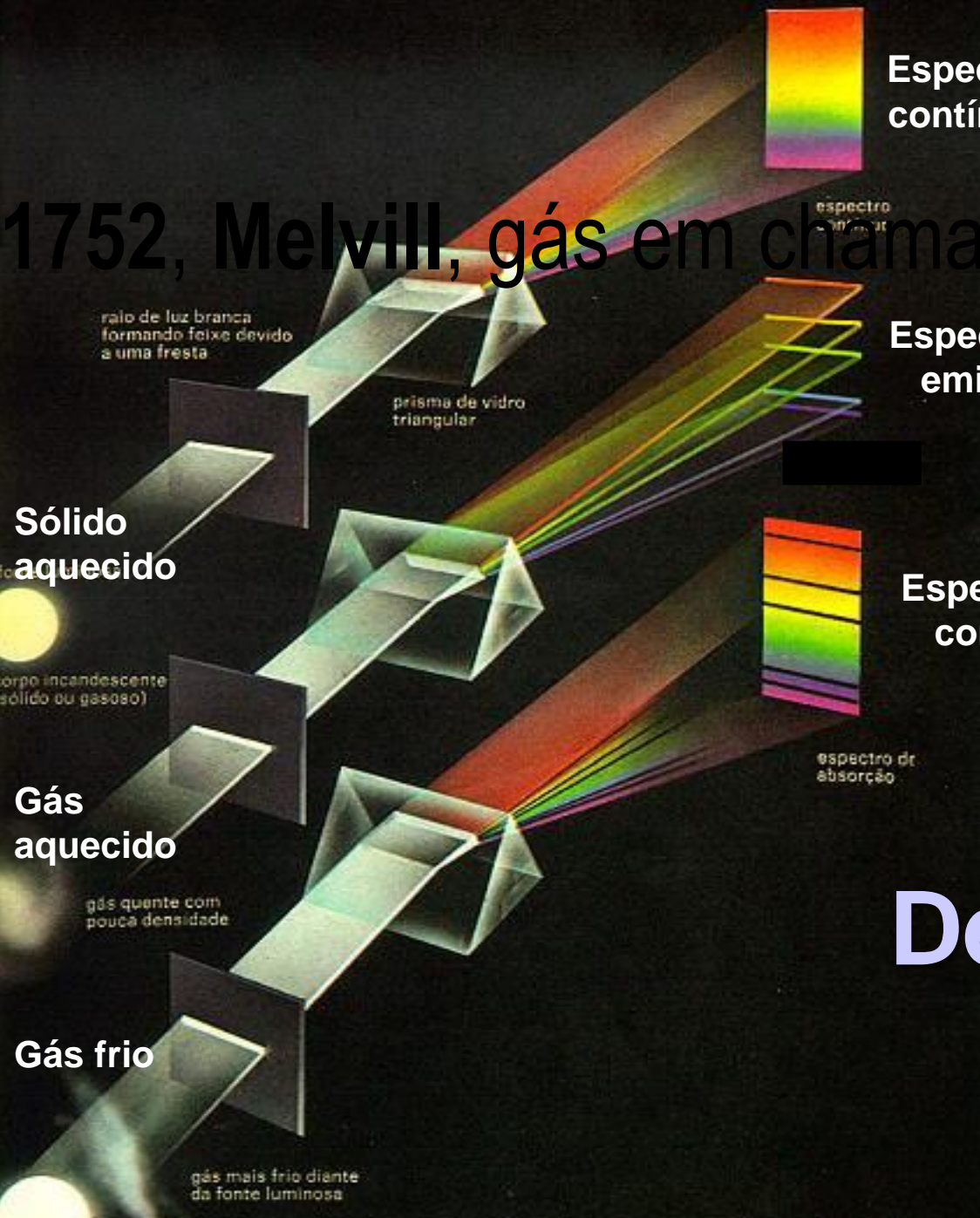
Xi ?!

Quantização da energia

Espectro eletromagnético

**1752, Melvill,
gás em chama ->
linhas de emissão.**

1752, Melvill, gás em chama



**Decomposição
da
luz**

Hidrogênio

Hélio

Oxigênio

Carbono

Nitrogênio

Neônio

Espectro Atômico

1752, Melvill, gás em chama -> linhas de emissão.

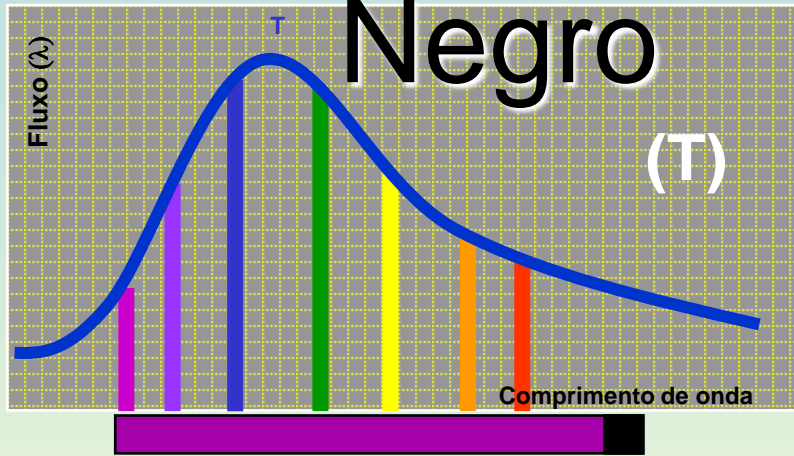
Fraunhofer, 1814, linhas escuras no espectro do Sol.

Kirchhof, linhas de absorção; descobre o hélio.

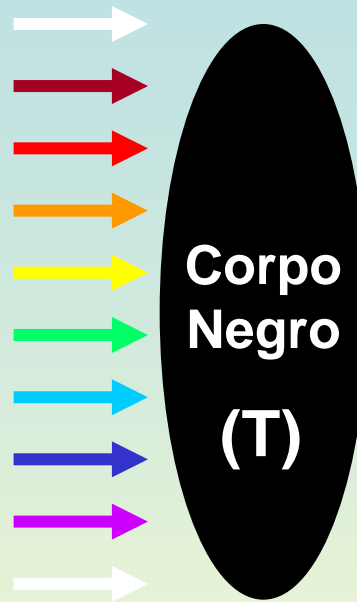
Angstron, 1862, linhas visíveis do hidrogênio.

Balmer (o teacher), 1885:
$$\nu \approx \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}$$

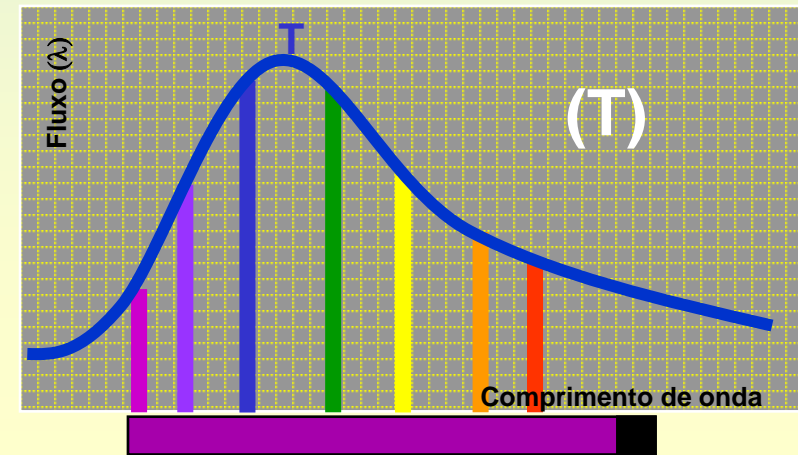
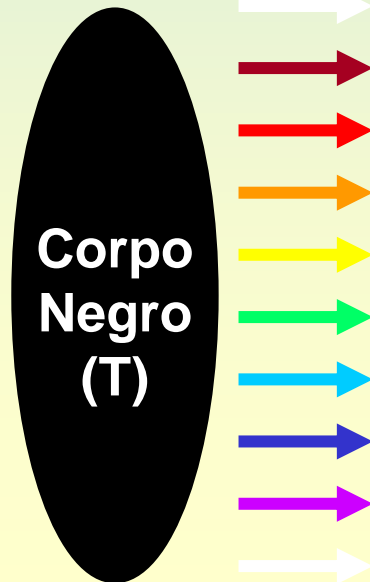
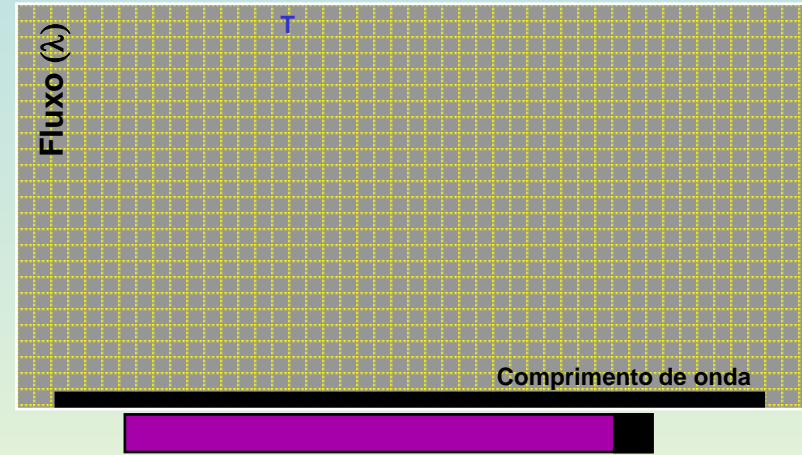
Espectro de Corpo Negro



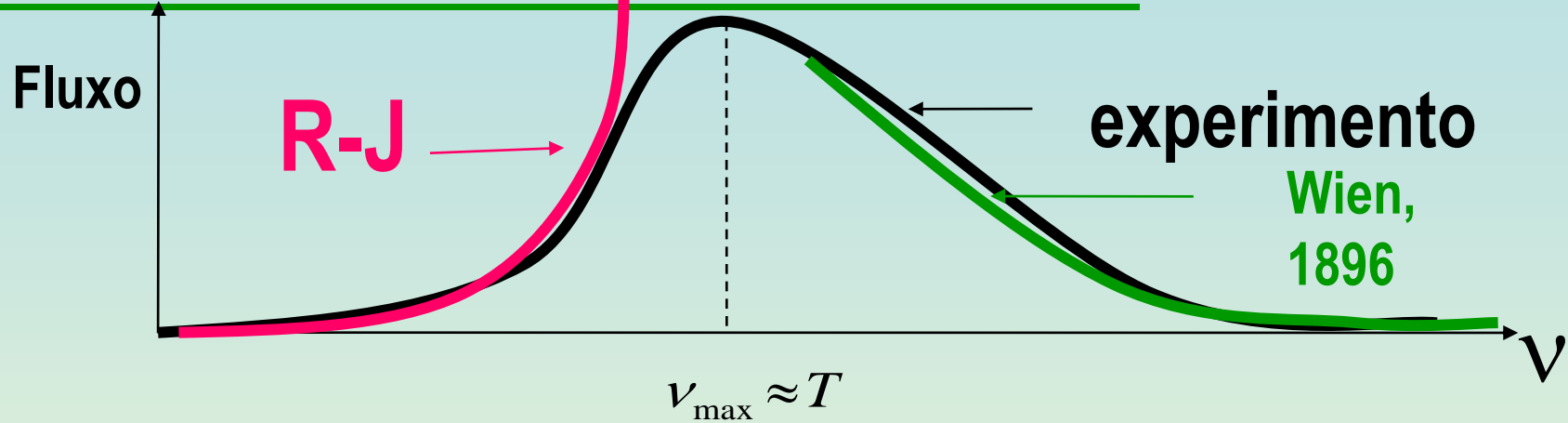
Emite o máximo de energia em todos os comprimentos de onda, para uma dada temperatura.



Absorve toda a energia que possa incidir sobre ele.



Newton + Maxwell + Boltzmann



$$E = kT/2$$

-> catástrofe do ultravioleta
(saia da frente da lareira)



$E = kT/2$ \longrightarrow catástrofe do ultravioleta

Se a matéria é discreta, não seria também a energia?

Planck mostrou que

$$E = n h \nu$$

Energia de um oscilador



Planck, 1900 (Nobel): nasce a Quântica

Por essa época, 1905, Einstein, com 26 anos:

- 1- Relatividade Especial – Mecânica
- 2- Efeito Browniano: átomos existem
- 3- Quantum de luz: fóton

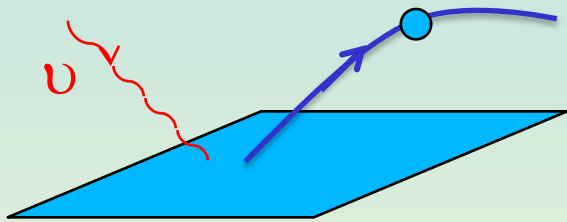
Para Einstein, a radiação dentro da cavidade também é quantizada. Assim, a luz é vista como coleção de partículas, o fóton,

de energia

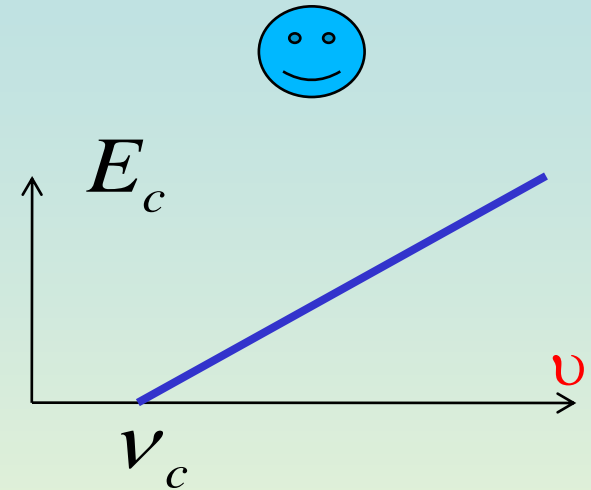
$$E = h \nu$$

fóton energia $E = h \nu$

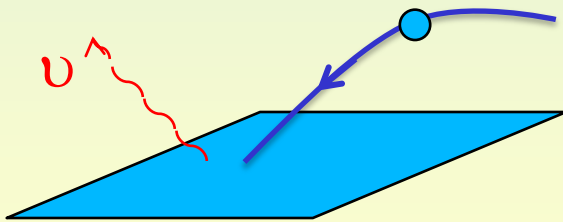
4- Efeito Fotoelétrico (Nobel):



$$E_c = h\nu - W$$



5- Emissão de raio-X = fotoelétrico inverso



Para produzir raio-x, o elétron deve ser muito energético, logo $W=0$

$$E_c = h\nu = eV$$

Lei experimental de Duane-Hunt



De volta a 1907

E o átomo, como vai?

Nada bem com o modelo de Rutherford !

Deveria irradiar em 1 ns !

Eis que surge **Niels Bohr**,

que abandona Thomsom e vem
trabalhar com Rutherford, em 1912.

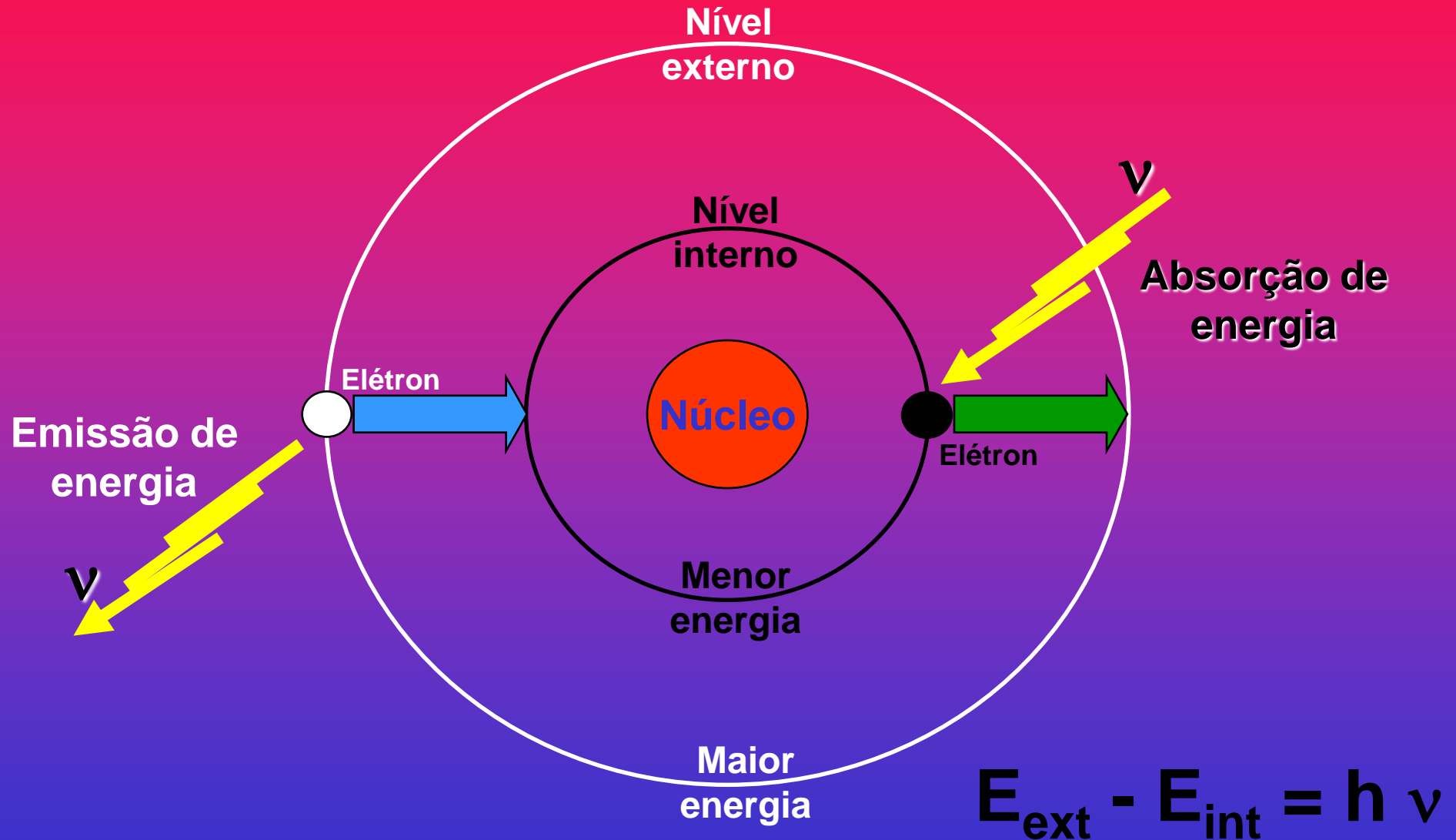
Conhece os trabalhos de:

- 1- **Balmer, Rydberg, Ritz:** $\nu \approx 1/n^2 - 1/m^2$
- 2- **Nicholson:** h momento angular
- 3- **Planck, Einstein** $E = h\nu$
- 4- **Rutherford:** átomo nuclear

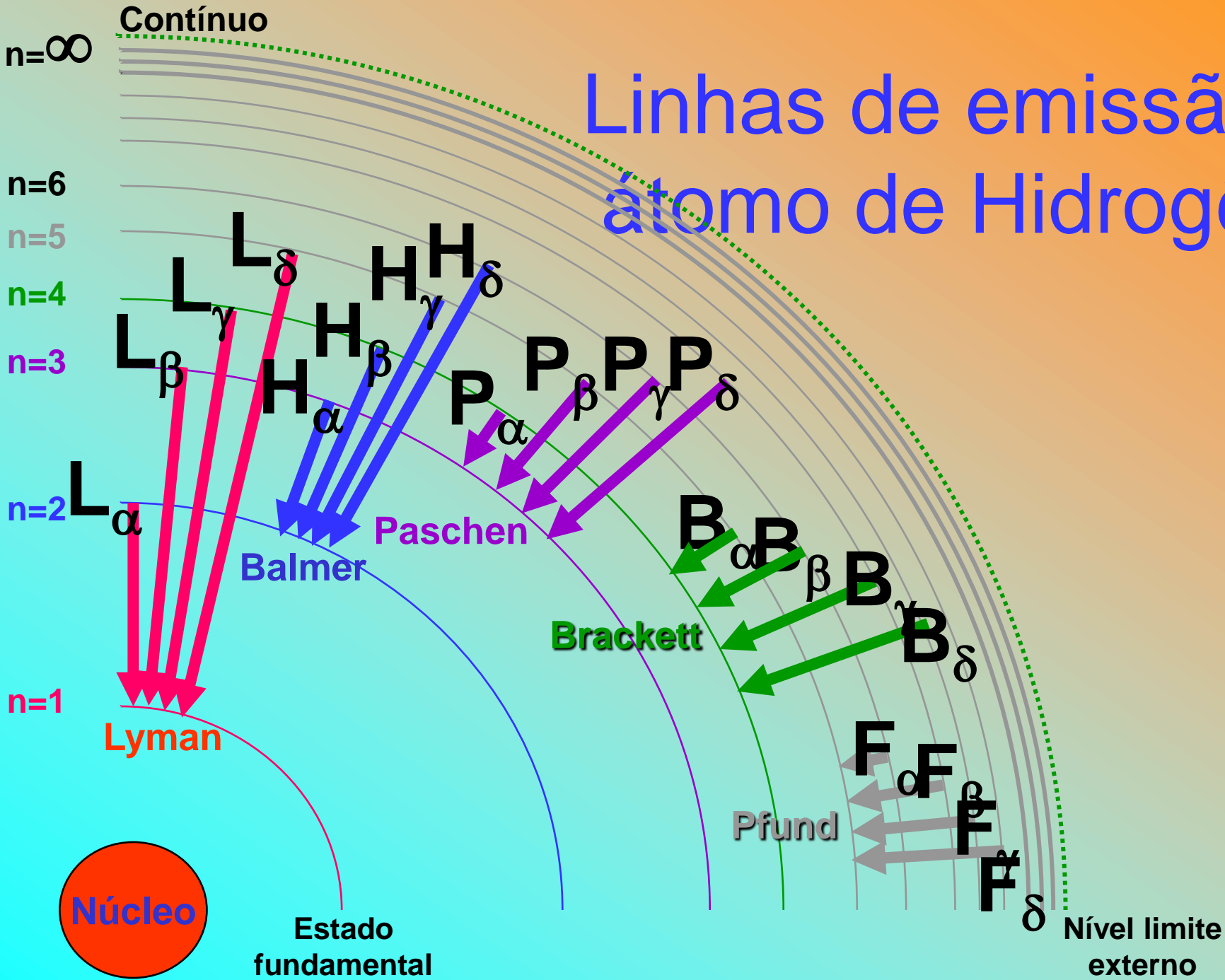
Bohr mistura Mec. Clássica com idéia de quantização:

- 1- **deduz a fórmula empírica de Balmer:**
- 2- **tamanho do átomo: 0.5 angstrom**

Emissão e absorção de energia



Linhas de emissão no átomo de Hidrogênio



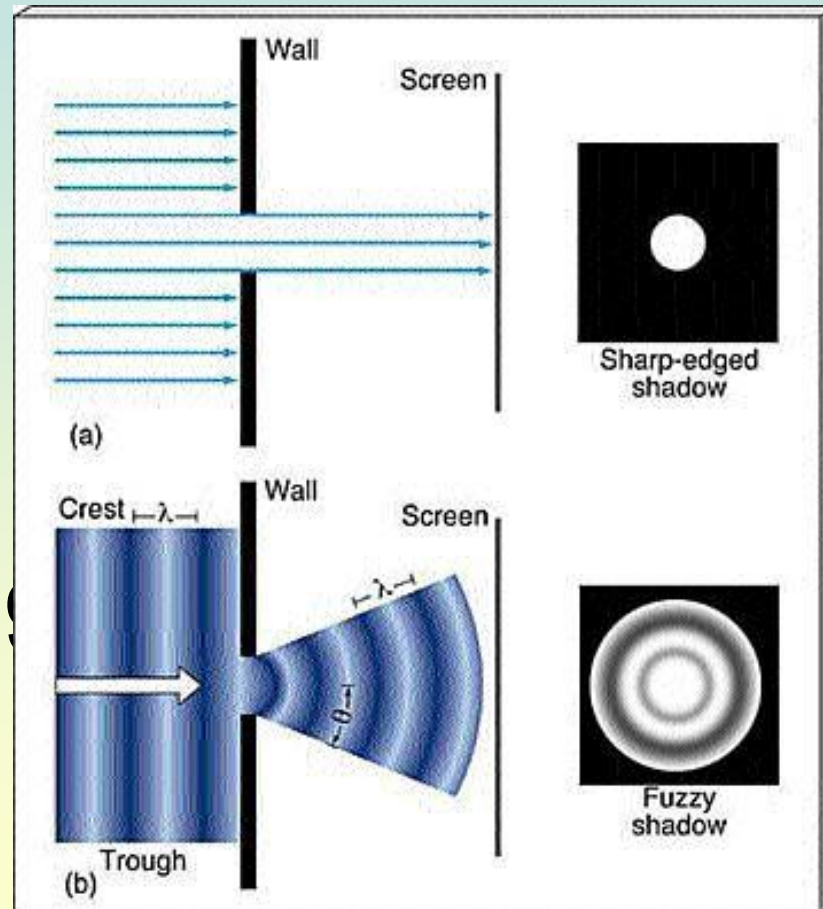
Críticas à teoria de Bohr:

- 1- mistura Mec. Clássica e Quântica;
- 2- teoria para o hidrogênio;
- 3- o espectro mostra mais linhas que as de Balmer..



Quanta

Young, 1801



interferência e difração ->

Einstein, 1905

efeito fotoelétrico ->



Dualidade é Universal

Louis-Victor de Broglie, 1924: **partícula também tem caráter ondulatório (Nobel):**

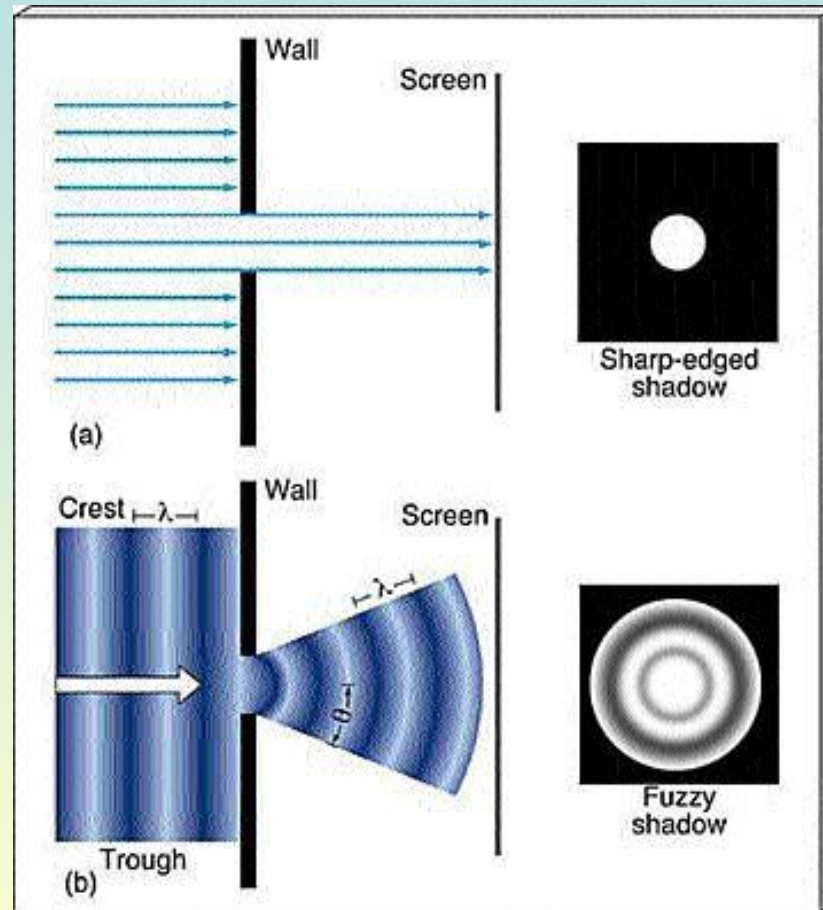
$$\lambda = h / p$$

Confirmado em 1927 por G. P. Thomson (Nobel), filho de **J. J. Thomson** (aquele dos raios catódicos).

Então, para o pai, elétron é partícula, e para o filho é onda! Para não gerar um conflito de gerações,

**Nascia uma nova
Mecânica Quântica,
com características ondulatórias**

Carácter Ondulatório do elétron



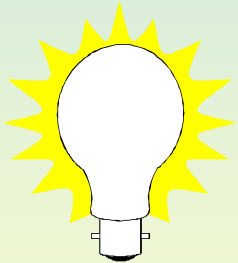
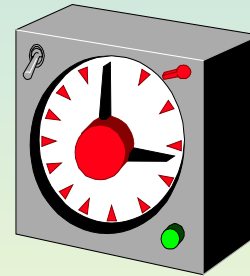
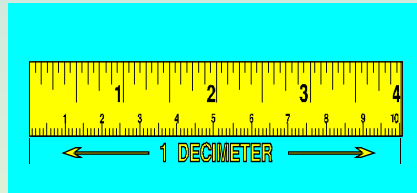
Que onda é essa? É uma onda de probabilidade!

Frutos dessa nova Mecânica

- estrutura da matéria
- condução elétrica
- condução de calor
- bandas de energia
- semicondutores
- superfluidez
- supercondutividade

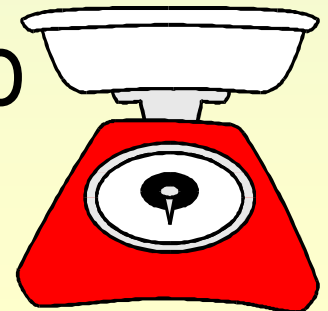
Relatividade Especial

Como um observador em movimento uniforme estuda um evento?

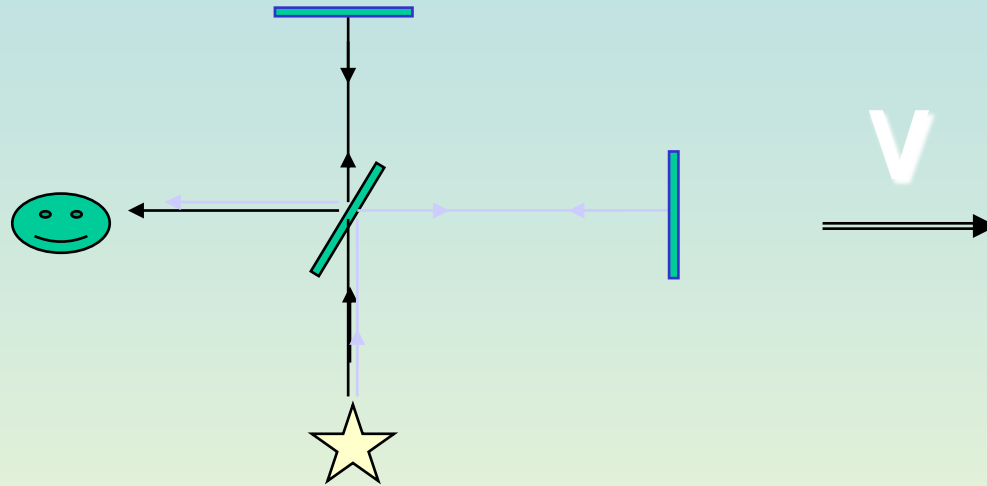


Relatividade Geral

Como um observador em movimento acelerado estuda um evento?



O interferômetro de Michelson – Morley 1881, 1887



Não revelou mudança no padrão de interferência:

a velocidade da luz não se soma !

Michelson: primeiro Americano a receber o Nobel

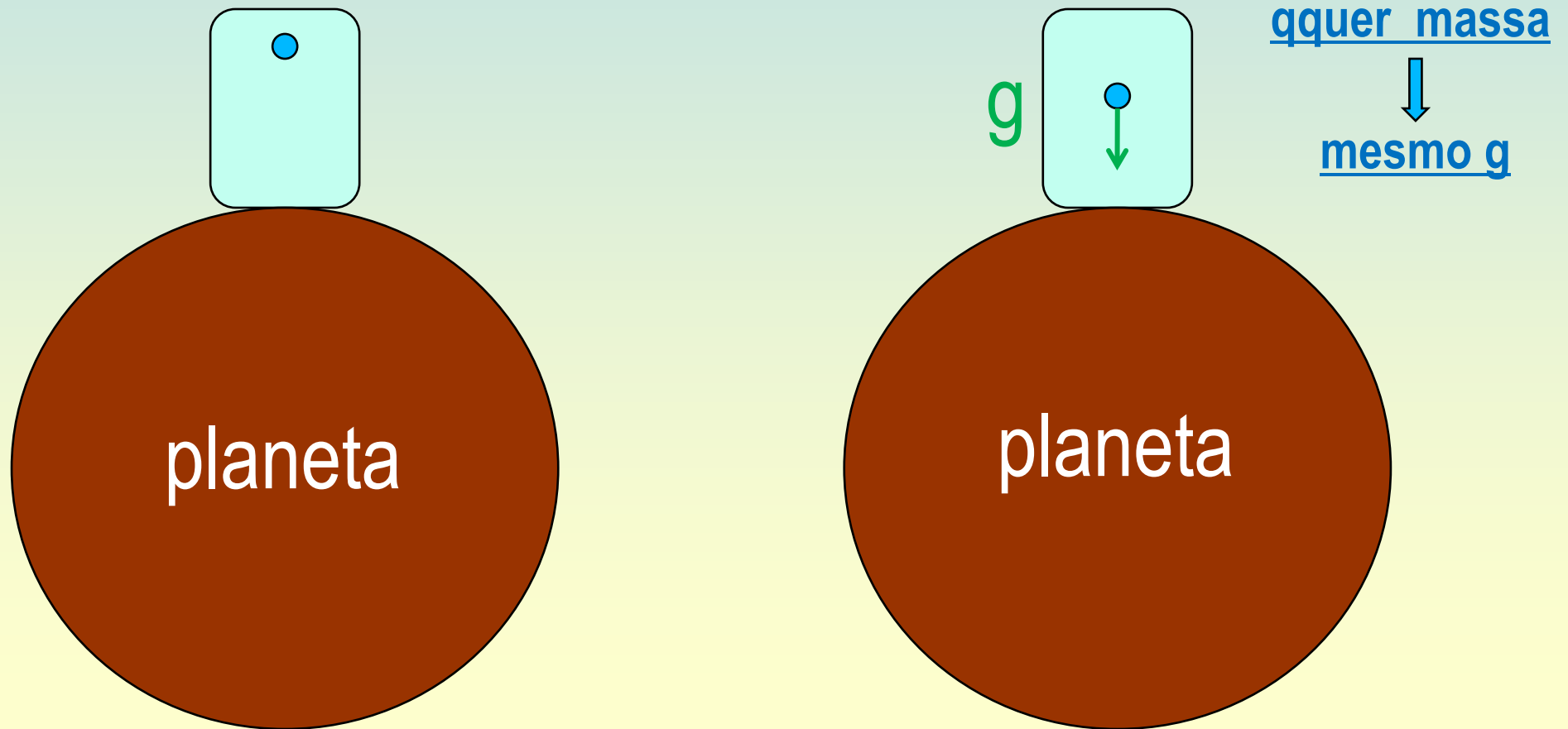
Os postulados de *Einstein*

*As leis da Física
são as mesmas
em todos os
referenciais inerciais*

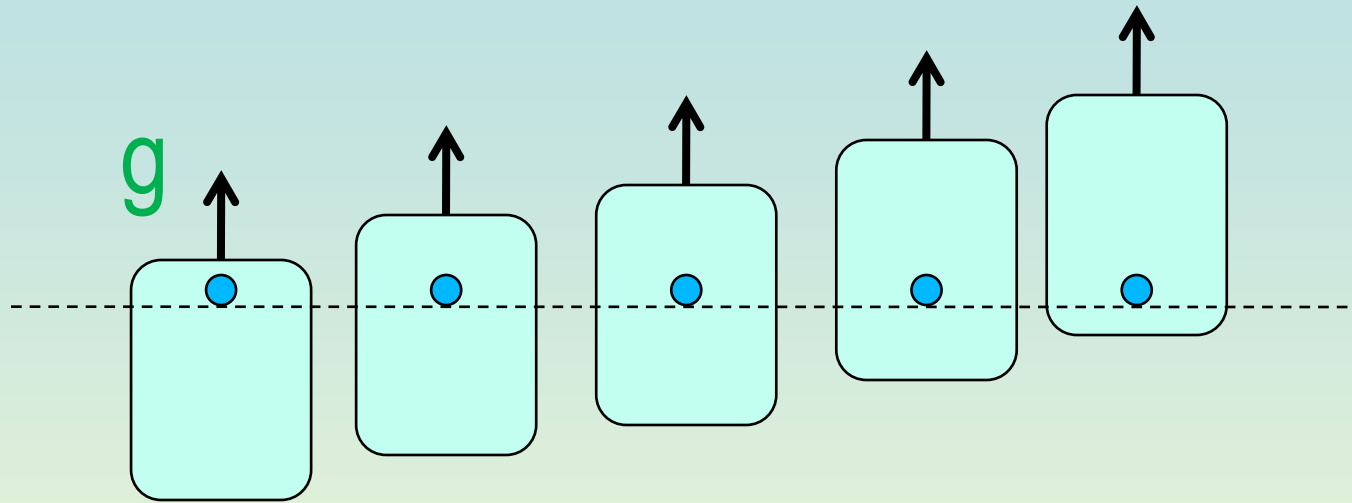
*A velocidade da luz
é invariante*

Princípio de Equivalência

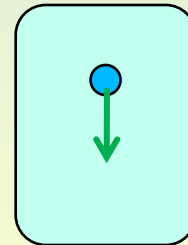
cabine num planeta



Cabine no espaço vazio



visto de dentro:

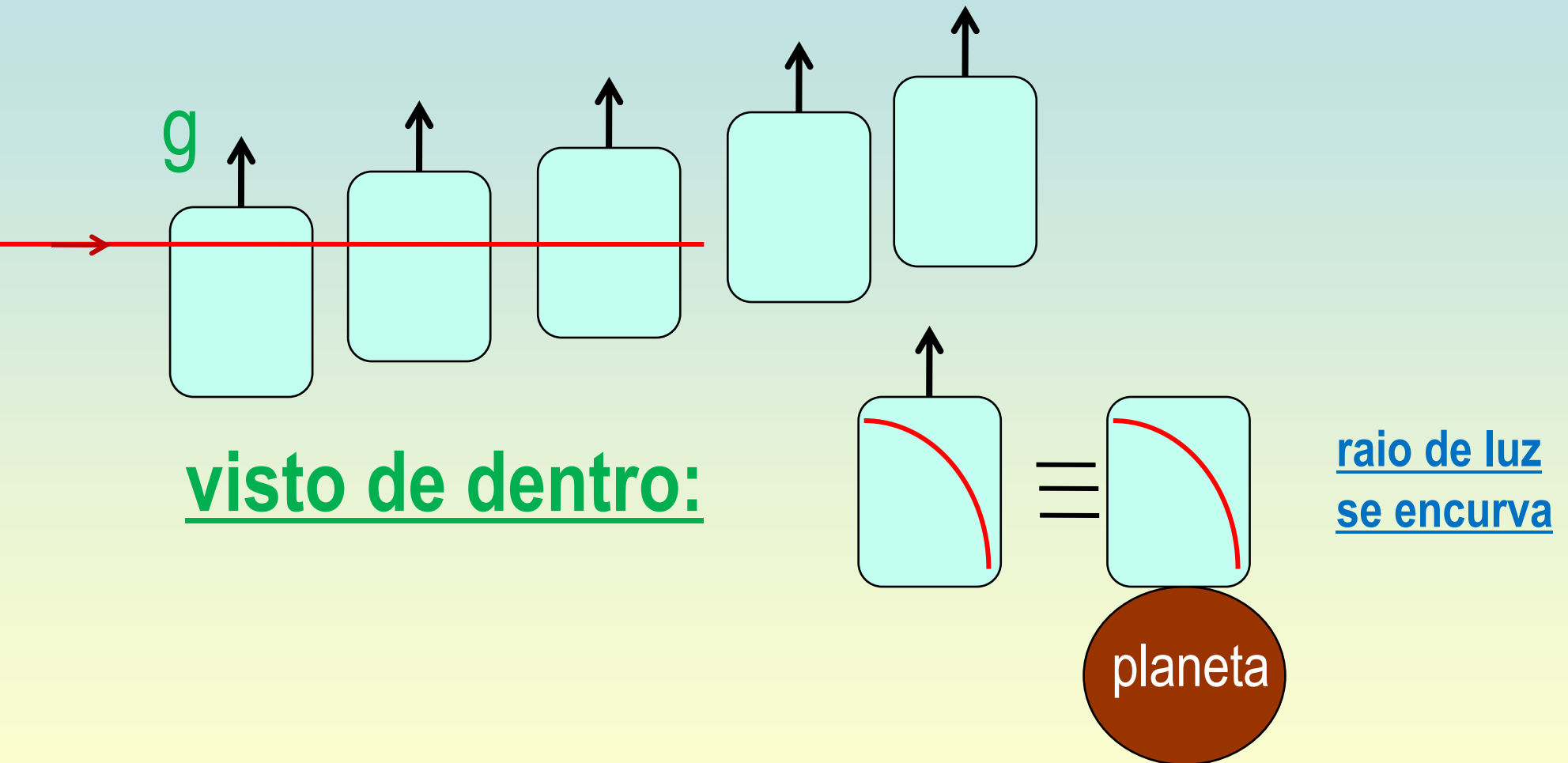


g

mesmo g
para qquer
massa

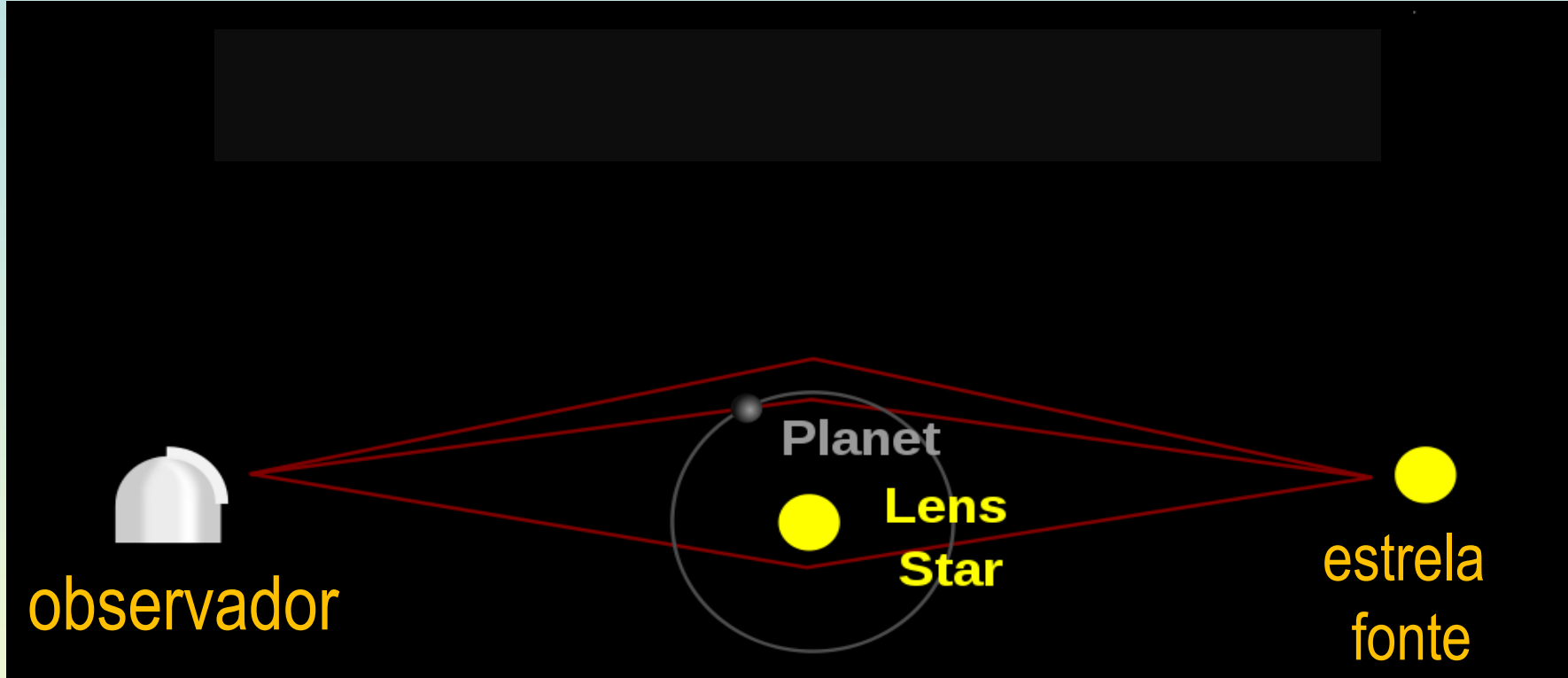
Então, uma cabine acelerada é equivalente a uma parada num campo gravitacional !!

Cabine (transparente) no espaço vazio



Então, pela equivalência, um raio de luz se encurva num campo gravitacional !!

Micro-lentes Gravitacionais



Quando a luz passa perto de um objeto com certa massa (planeta ou estrela), ela sofre um desvio em sua trajetória.

Previsões da Relatividade Geral

- deflexão da luz por campos gravitacionais
- desvio gravitacional para o vermelho
- precessão planetária (mercúrio)

***Nunca tão poucos, em tão pouco tempo,
fizeram tanto, por todos nós!***

***Nunca tão poucos, em tão pouco tempo,
fizeram tanto, por todos nós!***